

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re PATENT APPLICATION of
Inventor(s): NAMIKI

Appln. No.:		New
Series Code	↑	↑ Serial No.

Group Art Unit: Unassigned

Filed: July 30, 2003

Examiner: Unassigned

Title: FOCAL LENGTH MEASURING DEVICE

Atty. Dkt. P	305323	OSP-14386
M#		Client Ref

Date: July 30, 2003

**SUBMISSION OF PRIORITY
DOCUMENT IN ACCORDANCE
WITH THE REQUIREMENTS OF RULE 55**

Hon. Commissioner for Patents
PO Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Please accept the enclosed certified copy(ies) of the respective foreign application(s) listed below for which benefit under 35 U.S.C. 119/365 has been previously claimed in the subject application and if not is hereby claimed.

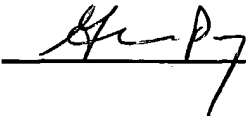
<u>Application No.</u>	<u>Country of Origin</u>	<u>Filed</u>
2002-224734	Japan	August 1, 2002

Respectfully submitted,

Pillsbury Winthrop LLP
Intellectual Property Group

P.O. Box 10500
McLean, VA 22102
Tel: (703) 905-2000

Atty/Sec: gjp/dlh

By Atty:	<u>Glenn J. Perry</u>	Reg. No.	<u>28458</u>
Sig:		Fax:	(703) 905-2500
		Tel:	(703) 905-2161

OSP/4386
US

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 8月 1日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-224734

[ST.10/C]:

[JP2002-224734]

出 願 人

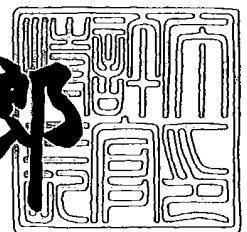
Applicant(s):

オリンパス光学工業株式会社

2003年 6月23日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3049140

【書類名】 特許願

【整理番号】 02P00713

【提出日】 平成14年 8月 1日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G01M 11/02

【発明の名称】 焦点距離測定装置

【請求項の数】 13

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリンパス光学工業株式会社内

 【氏名】 雙木 満

【特許出願人】

 【識別番号】 000000376

 【氏名又は名称】 オリンパス光学工業株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100106909

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 棚井 澄雄

【代理人】

 【識別番号】 100064908

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 志賀 正武

【選任した代理人】

 【識別番号】 100101465

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 青山 正和

【選任した代理人】

 【識別番号】 100094400

 【弁理士】

【氏名又は名称】 鈴木 三義

【選任した代理人】

【識別番号】 100086379

【弁理士】

【氏名又は名称】 高柴 忠夫

【選任した代理人】

【識別番号】 100118913

【弁理士】

【氏名又は名称】 上田 邦生

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008707

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0207288

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 焦点距離測定装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 被検レンズの焦点距離を測定する焦点距離測定装置であって、コリメート光を発生する光源ユニットと、前記被検レンズに向けてコリメート光を偏向する光線偏向手段と、前記被検レンズを通過した後に形成されるスポットの位置を検出するスポット位置読み取り手段とを備えていて、該スポット位置読み取り手段は被検レンズの後側焦平面近傍に配置されていて、前記スポットの位置に基づいて被検レンズの焦点距離を得るようにしたことを特徴とする焦点距離測定装置。

【請求項 2】 前記光線偏向手段は、被検レンズの前側焦平面近傍に配置されていることを特徴とする請求項 1 記載の焦点距離測定装置。

【請求項 3】 被検レンズの焦点距離を測定する焦点距離測定装置であって、コリメート光を発生する光源ユニットと、前記被検レンズに向けてコリメート光を偏向する光線偏向手段と、前記被検レンズを通過した後に形成されるスポットの位置を検出するスポット位置読み取り手段とを備えていて、前記光線偏向手段は被検レンズの前側焦平面近傍に配置されていて、前記スポットの位置に基づいて被検レンズの焦点距離を得るようにしたことを特徴とする焦点距離測定装置。

【請求項 4】 前記スポット位置読み取り手段で得られたスポットの位置と被検レンズの光軸との距離を測定して、被検レンズの焦点距離を得るようにしたことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の焦点距離測定装置。

【請求項 5】 前記スポット位置読み取り手段で得られた、異なる偏向角で偏向した複数のスポットの位置間の距離を測定して、前記被検レンズの焦点距離を得るようにしたことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の焦点距離測定装置。

【請求項 6】 前記光線偏向手段は、一定の周期を有する回折格子で構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の焦点距離測定装置。

【請求項 7】 前記被検レンズを保持する保持手段が備えられていて、該保持手段とスポット位置読み取り手段の間に両側テレセントリック光学系が配設されていることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の焦点距離測定装置。

【請求項 8】 前記スポット位置読み取り手段は、撮像素子であることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載の焦点距離測定装置。

【請求項 9】 前記スポット位置読み取り手段は、光軸に直交する方向に移動可能な受光素子を備えていることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載の焦点距離測定装置。

【請求項 10】 前記受光素子の前にピンホールが配設されていることを特徴とする請求項 9 に記載の焦点距離測定装置。

【請求項 11】 前記ピンホールと受光素子との間にレンズが配設され、該レンズはピンホールと受光素子とが共役となる位置に配設されていることを特徴とする請求項 10 に記載の焦点距離測定装置。

【請求項 12】 前記光線偏向手段による偏向角度 θ は、

$$\sin \theta < 0.1$$
を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 11 のいずれかに記載の焦点距離測定装置。

【請求項 13】 前記光源ユニットは、コリメート光学系を含むことを特徴とする請求項 1 乃至 12 のいずれかに記載の焦点距離測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光学系の焦点距離を測定するための焦点距離測定装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来、レンズ等の光学系の焦点距離を測定する装置として、例えば特開平 7 -

5 5 6 3 8 号公報に記載された焦点距離測定装置が提案されている。

この焦点距離測定装置の概略を図 1 3 を用いて説明する。図において、被検レンズ TL の光軸 L 上の両側の一方を物点 O とすると、他方は被検レンズ TL による像点 I となる。被検レンズの前側焦点位置を F、後側焦点位置を F' とし、OF 間距離を Z、F' - I 間距離を Z' とすると、次の関係式が成り立つ。

$$Z Z' = f^2$$

ここで、f は被検レンズ TL の焦点距離であり、上式はニュートンの式として知られている。ニュートンの式からわかるように、被検レンズ TL の光軸に沿って Z 及び Z' を精密に測定することで被検レンズ TL の焦点距離を算出することができる。

【0 0 0 3】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上述のような焦点距離測定装置は、以下のような欠点がある。

この焦点距離測定装置では、物点 O と前側焦点位置 F との間の距離 Z や後側焦点位置 F' と像点 I との間の距離 Z' といったように光軸に沿った量を測定する必要がある。ところが、被検レンズの開口数 (NA) が小さいと収差は小さいが焦点深度 (或いは被写界深度) が深くなってしまい、集光点を厳密に検出することができなくなってしまう。そのために距離 Z' の測定に誤差を生じてしまう。他方、被検レンズの開口数が大きいと収差の影響が大きくなってしまい、集光点を厳密に検出できない欠点がある。

そのため、上記従来技術では、開口数を小さく設定して 3 箇所以上の集光点や被検レンズの位置等を測定することで焦点距離 f を算出するようにしている。しかしながら、このような焦点距離測定装置では、焦点距離の測定が煩雑になる上に、焦点距離の厳密な測定が非常に困難であった。

本発明は、このような実情に鑑みて、焦点深度や収差の影響を抑えて被検レンズの焦点距離を正確且つ簡便に測定できるようにした焦点距離測定装置を提供することを目的とする。

【0 0 0 4】

【課題を解決するための手段】

本発明による焦点距離測定装置は、被検レンズの焦点距離を測定する焦点距離測定装置であって、コリメート光を発生する光源ユニットと、被検レンズに向けてコリメート光を偏向する光線偏向手段と、被検レンズを通過した後に形成されるスポットの位置を検出するスポット位置読み取り手段とを備えていて、スポット位置読み取り手段は被検レンズの後側焦平面近傍に配置されていて偏向した光のスポット位置に基づいて被検レンズの焦点距離を得るようにしたことを特徴とする。

光源ユニットから射出したコリメート光は光線偏向手段で偏向角 θ を与えられる。そして被検レンズを通過して、スポット位置読み取り手段に集光する。スポット位置読み取り手段でのスポット位置と光軸との間の距離 h と、被検レンズの焦点距離 f とは、基本的に次式

$$h = f \tan \theta \quad (1)$$

という関係に従う。よって偏向角 θ が既知で、距離 h をスポット位置読み取り手段によって求めれば、式 (1) から被検レンズの焦点距離 f を測定できる。このとき、距離 h は光軸方向に直交する方向の距離であるから、焦点深度の影響を受けずに焦点距離 f を正確に算出できる。

【0005】

また、本発明による焦点距離測定装置は、被検レンズの焦点距離を測定する焦点距離測定装置であって、コリメート光を発生する光源ユニットと、被検レンズに向けてコリメート光を偏向する光線偏向手段と、被検レンズを通過した後に形成されるスポットの位置を検出するスポット位置読み取り手段とを備えていて、光線偏向手段は被検レンズの前側焦平面近傍に配置されていて、スポットの位置に基づいて被検レンズの焦点距離を得るようにしたことを特徴とする。

被検レンズの前側焦平面近傍から偏向角 θ で射出するコリメート光の主光線は、被検レンズを透過した後に被検レンズの光軸と平行になる。そのため、スポット位置読み取り手段が被検レンズの後側焦平面近傍で光軸方向の前後にずれた位置に配設されても、スポット光の中心位置はほとんど変化しない。即ち、スポットの距離 h はほとんど変化することがない。よって光軸方向におけるスポット位置読み取り手段の配設位置を厳密に位置決めしなくてもよいので、位置設定が非

常に容易である。

例えば、光線偏向手段が被検レンズの前側焦平面位置から±30%の範囲で前後にずれて配置されていても、スポットの距離 h のズレは1%以内に収めることができる。そのため、前側焦平面近傍とは前側焦平面位置に対して±30%ずれた位置を含んでいる。

【0006】

スポットの距離 h は、被検レンズの中心軸からスポット位置までの間隔になる。通常、被検レンズの中心軸は測定装置の光学系の光軸と一致する。よって、光軸位置とスポット位置が求まれば、スポットの距離 h が得られる。ここで、光軸の位置は、光線偏向手段を光路中から取り除き、その状態でスポット位置読み取り手段上に形成されるスポット光の位置で求めることができる。

また、異なる偏向角で偏向した複数の光のスポット位置間の距離を測定して、被検レンズの焦点距離を得るようにしてもよい。この場合には、偏向角 θ_m およびスポット位置 h_m と、偏向角 θ_n およびスポット位置 h_n とから、焦点距離 f は次式で得られる。

$$f = |h_m - h_n| / \tan(\theta_m - \theta_n) \quad (1b)$$

【0007】

また、光線偏向手段は、一定周期の格子溝または格子突起を有する回折格子で構成されていてもよい。

回折格子にコリメート光が入射すると複数の回折光が発生し、その回折光の m 次($m=0, 1, 2, \dots$)の回折角は

$$\sin \theta_m = m\lambda \quad (\text{但し、}\lambda: \text{光の波長}) \quad (2)$$

に厳密に従うので偏向方向(回折方向)を厳密に設定することが容易である。

この場合、偏向光が m 次の回折光であると、偏向角は θ_m 、スポット位置は h_m であるから、

$$f = h_m / \tan \theta_m \quad (1a)$$

により得られる。

また m 次の回折光(偏向角 θ_m 、スポット位置 h_m)と n 次の回折光(偏向角 θ_n 、スポット位置 h_n)を用いれば、(1b)式より焦点距離 f を求めること

ができる。

また、被検レンズを保持する保持手段が備えられていて、この保持手段とスポット位置読み取り手段の間に両側テレセントリック光学系が配設されていてもよい。

被検レンズによってその焦点距離は長いものから短いものまで様々であるため、(1)式で求められるスポット位置の距離(像高) h が、スポット位置読み取り手段の測定可能な分解能と比較して、必ずしも測定時に適当な値であるとは限らない。そのため、両側テレセントリック光学系を光路に配設することでスポット位置読み取り手段で集光するスポットの距離 h を拡大または縮小することで適切に設定することができ、しかも被検レンズの後側焦平面とスポット位置読み取り手段との間の倍率はほとんど変化しないので正確なスポット位置を測定できる。

【0008】

また、スポット位置読み取り手段は撮像素子であってもよい。

撮像素子を利用することで、スポット位置読み取り手段上におけるスポット光の座標や位置の特定が容易になる。

また、スポット位置読み取り手段は、光軸に直交する方向に移動可能な受光素子を備えていてもよい。或いは移動可能なステージ上に受光素子が設けられていてもよい。

撮像素子によるスポット位置の測定精度は単一のピクセルサイズで限定されてしまうが、受光素子を微小移動させることでピクセルサイズよりも高い分解能でスポット位置を測定することができ、より高精度な焦点距離の測定が可能になる。

また、受光素子の前にピンホールが配設されていてもよい。

ピンホールによって受光素子に入射する光からノイズ、迷光が排除され、スポット光のみを受光素子に集光できるからスポット光の読み取り精度が向上する。特にスポット光近傍をピンホールがスキャンすることでスポット光の中心位置が容易に識別できる。

また、ピンホールと受光素子との間にレンズが配設され、このレンズはピンホ

ールと受光素子とが共役となる位置に配設されていてもよい。

【0009】

また、光線偏向手段による偏向角度 θ は、

$$\sin \theta < 0.1 \quad (3)$$

を満足するようにしてもよい。

偏向角 θ が上記の範囲内の角度であれば、レンズの収差の影響を受けずに近軸量である焦点距離の測定を正確に行える。また偏向角 θ が上記の範囲を超えるとレンズを通過する際の収差の影響が大きくなり、スポット光の精密な測定に悪影響を与える。

また、光源ユニットは、コリメート光学系を含んでいてもよい。

半導体レーザ以外のレーザ等を含む指向性の高い光源は光源ユニット内にコリメート光学系を配設する必要はないが、指向性の低い光源を用いる場合にはコリメート光学系を配設することでコリメート光を生成できる。

【0010】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を添付の図面を参照して説明する。

図1は本発明の第一の実施の形態による焦点距離測定装置を示すものであり、(a)は光学系の構成を示す図、(b)は光学系において回折格子で偏向する光の拡大図、(c)は同じく撮像素子で集光する光の拡大図である。

図1において、第一の実施形態による焦点距離測定装置1は、コリメート光を射出するコリメート光源2（光源ユニット）と、回折格子3或いは周期構造体（光線偏向手段）と、被検レンズTLを保持する保持部材5と、撮像素子4（スポット位置読み取り手段）とによって概略構成されている。

被検レンズTLはその中心軸が光軸Lと一致するように保持部材5で保持されている。また、回折格子3は被検レンズTLの前側焦平面FF近傍に配置され、撮像素子4の受光面4aは被検レンズTLの後側焦平面FB近傍に配置されている。

尚、被検レンズTLの焦点距離fは測定前は不明であるので、最初は被検レンズTLを光路中の任意の位置に配置することになる。しかしながら、被検レンズ

TL の設計値が既知の場合には、その設計値に基づいて保持部材 5' によって被検レンズ TL を光路上の所定位置に保持することは容易である。

一方、被検レンズ TL の設計値が全く不明の場合にも次のようにして所定位置に配置することができる。まず、被検レンズ TL の後側焦平面 FB 近傍に撮像素子 4 の受光面 4 a を配置することに関しては、目視によって被検レンズ TL を通過して集光するスポット位置に撮像素子 4 の受光面 4 a を一致させるだけで容易に行える。次に、回折格子 3 を被検レンズ TL の前側焦平面 FF 近傍に配置することに関しては、撮像素子 4 を光軸 L に沿って前後させたときに、撮像素子 4 の受光面 4 a で得られる回折光のスポット間隔が変化しなくなる位置に回折格子 3 を配設するだけでよい。

尚、被検レンズ TL となるレンズは、例えば $f = 30 \text{ mm}$ であったり、 $f = 100 \text{ mm}$ というように様々な焦点距離を有している。よって、光線偏向手段、保持部材、スポット位置読み取り手段のうち少なくとも一つは、光軸に沿って移動可能となっていることが好ましい。このようにしておけば、前側焦平面 FF および後側焦平面 FB に回折格子 3 と撮像素子 4 をそれぞれ配置することができる。尚、移動手段としては、公知のスライダー機構（図示せず）を用いるとよい。

【0011】

また回折格子 3 は、一定の周期間隔 d (mm) を有する格子溝（または格子突起）をしている。そのため、コリメート光が入射すると、図 1 (b) に示すように多数の次数の回折光が発生することになる。この時、その回折角（偏向角） θ は以下の式 (4) によって厳密に求めることができる。

$$d \sin \theta_m = m \lambda \quad (4)$$

ここで、 θ_m は m 次 ($m = 0, 1, 2 \dots$) の回折次数の回折角、 λ は光の波長である。

図 1 (b) では、0 次と士 1 次の回折光のみを示しているが、実際には、より高次数での回折光も被検レンズ TL に入射し、撮像素子 4 上に集光する（図 1 (c) 参照）。このとき、収差の影響が小さければ、被検レンズ TL の焦点距離 f は以下の式 (1 a) によって求められる。

$$f = h m / \tan \theta_m \quad (1 a)$$

ここで、 h_m は m 次の回折光が撮像素子4の受光面4aに集光したスポットの光軸Lに直交する方向の距離である。

従って、既知の回折角 θ_m に対して、 m 次の回折光の像高 h_m を得ることで式(1a)から被検レンズTLの焦点距離 f を求めることが可能となる。

尚、光線偏向手段が回折格子の場合、スポット位置に相当する ± 1 次光の他に、光軸位置に相当する0次光が発生する。よって、回折光を光路から取り除かなくても光軸位置を得ることができる。

【0012】

尚、ここでは、 m 次の回折光と光軸L(0次回折光)との間隔および m 次の回折光の回折角 θ_m によって焦点距離 f を求めたが、0次以外の異なる2つの次数 m 、 n の回折光のなす角度 $\theta_m - \theta_n$ と、次数 m 、 n の回折次数のスポット間隔 $h_m - h_n$ を求めることにより被検レンズTLの焦点距離を求めることも可能である。この場合、(1a)式の θ_m を $|\theta_m - \theta_n|$ 、 h_m を $|h_m - h_n|$ に置き換えるだけでよく、次式(1b)となる。

$$f = |h_m - h_n| / \tan(\theta_m - \theta_n) \quad (1b)$$

しかし、焦点距離 f が近軸量であることを考えると、 ± 1 次の回折光と0次の回折光のなす角度を用いることが望ましい。この場合には回折光が被検レンズTLの中心部を通過することになるので、被検レンズTLの収差等に影響されない厳密な焦点距離 f を求めることができる。

またなるべく近軸量に近い焦点距離 f を求めるには、偏向した光線の被検レンズTLの光軸となす角度 θ が、

$$\sin \theta < 0.1 \quad (3)$$

を満足することが望ましい。このような非常に小さい角度であれば、被検レンズTLの中心軸(光軸L)にできるだけ近い領域を通るため、近軸量として定義される焦点距離 f を厳密に測定することが可能となる。

【0013】

また、回折格子3は、被検レンズTLの前側焦平面FF近傍に配置されることが望ましい。この場合、回折格子3によって偏向した光線の主光線が、被検レンズTLを透過後に被検レンズTLの光軸に平行になる(像側にテレセントリック

になる)。このようにすると、撮像素子4が被検レンズTLの後側焦平面FBに厳密に配置されなくても、受光面4aに集光したスポットの中心位置は厳密に配置したときと比べてもあまり変化しない。従って、測定時の位置調整に厳密さが要求されないので、容易に焦点距離 f を求めることが可能である。しかも、撮像素子4が光軸Lに沿って多少前後しても、スポット像がボケるだけで各回折光のスポット間隔は変わらない。この結果、集光点からずれた位置に撮像素子4を配設してもスポット位置 h_m はほとんど変わらないので、焦点深度の影響を受けない。またアライメントに神経質にならなくてもよい。

また回折次数 m が0次と1次である各回折光のスポット間隔は厳密に式(4)に従うため、仮に被検レンズTLの収差量が大きくてもスポットはサイズが大きくなるなど変形するだけである。即ちスポット間隔はほとんど変わらないので、測定結果は収差の影響を受けにくい。

【0014】

上述のように本実施の形態によれば、撮像素子4の受光面4aで光軸Lに直交する方向のスポットの距離(像高) h または h_m を測定することにより、式(1)または(1a)から被検レンズTLの焦点距離 f を厳密に求めることができる。しかも、回折格子3は被検レンズTLの前側焦平面FF近傍に配設されているから、偏向した光の主光線は像側にテレセントリックになり、撮像素子4の配設位置が後側焦平面FB位置から光軸方向にずれても焦点深度や収差の影響を受けずに精密な焦点距離 f の測定を行える。特に、偏向角 θ を(3)式を満足する程度に小さく設定することで、収差の影響を抑えて厳密な測定ができる。

【0015】

次に、第一の実施の形態による焦点距離測定装置1と図13に示す従来の焦点距離測定装置との測定精度について比較説明する。

先ず図13に示す従来の焦点距離測定装置の測定精度について説明する。

従来の焦点距離測定装置では、被検レンズTLの焦点距離 f を $f^2 = Z Z'$ の関係式から求める。ところが、距離 Z 、 Z' の測定においてそれぞれ ΔZ 、 $\Delta Z'$ の測定誤差が生じるので、焦点距離 f の測定誤差を Δf とすると、

$$f + \Delta f = \sqrt{(Z + \Delta Z)(Z' + \Delta Z')} \quad (j1)$$

という関係式が成り立つ。ここで、距離 Z 、 Z' の測定誤差 ΔZ 、 $\Delta Z'$ は何れも等しいとして $\Delta Z = \Delta Z' = \varepsilon$ と表すと、(j 1) 式は更に次のように変形できる。

【0016】

【数1】

$$\begin{aligned} f + \Delta f &= \sqrt{ZZ'} \sqrt{1 + \frac{Z + Z'}{ZZ'} \varepsilon} \\ &\approx \sqrt{ZZ'} \left(1 + \frac{Z + Z'}{2ZZ'} \varepsilon \right) \end{aligned} \quad (j2)$$

【0017】

つまり焦点距離 f の測定誤差 Δf と、測定誤差 Δf と焦点距離 f の比 $\Delta f / f$ はそれぞれ、

$$\Delta f = \varepsilon (Z + Z') / \{ Z \sqrt{(ZZ')} \} \geq \varepsilon \quad (j3)$$

$$\Delta f / f \geq \varepsilon / f \quad (j4)$$

となる。但し、(j 3) 式では相加相乗平均を利用した。これより、従来の手法では焦点距離の測定精度を高めるためには、測定誤差 ε を小さくする必要がある、光軸 L 方向の位置精度を十分高めなければいけないことがわかる。

【0018】

次に、本実施形態による焦点距離測定装置 1 の測定精度を、図 2 に示す模式図を用いて説明する。まず角度の符号について説明する。光の角度の正負は図 2 (a) において、光軸方向を z として光軸 L から光線へ鋭角をたどって回る向きが時計回りなら正、反時計回りなら負とする。

これに従うと図 2 (b) の光線の角度 θ は負の値である。図中、簡単のため被検レンズ TL を焦点距離 f の薄肉レンズとする。測定時において、被検レンズ TL の前側焦平面 FF からの回折格子 3 の光軸方向のズレ量を Δz 、被検レンズ TL の後側焦平面 FB からの撮像素子 4 の光軸方向のズレ量を $\Delta z'$ とおく。回折格子 3 での光線位置を y 、回折格子 3 による回折角を θ とすると、撮像素子 4 で

の光線位置 y' 、光線角度 θ' は次のように表すことができる。

【0 0 1 9】

【数 2】

$$\begin{pmatrix} y' \\ \theta' \end{pmatrix} = T' P T^{-1} \begin{pmatrix} y \\ \theta \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$T = \begin{pmatrix} 1 & -(-f + \Delta z) \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1/f & 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$T' = \begin{pmatrix} 1 & -(f + \Delta z') \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$\theta = \lambda / d \quad (10)$$

【0 0 2 0】

ここで、 T は回折格子 3 のズレを表す移行行列、 P は被検レンズ TL の屈折行列、 T' は撮像素子 4 の移行行列を表す。また、 λ はコリメート光源 1 から射出する光の波長、 $1/d$ は回折格子 3 の空間周波数である。回折格子 3 上での (y, θ) として $(0, \theta)$ とすると、撮像素子 4 上での光線位置 y' は次式のようにになる。

【0 0 2 1】

【数3】

$$y' = - \left(f + \frac{\Delta z \Delta z'}{f} \right) \theta \quad (11)$$

【0022】

回折格子3と撮像素子4がそれぞれ被検レンズTLの前側焦平面FFおよび後側焦平面FBに配置できたときの光線位置 y' を $y' \circ$ とすると、(11)式において ΔZ 、 $\Delta Z'$ を0とすればよいから、

$$y' \circ = - f \theta \quad (12)$$

となるので、撮像素子4上での光線位置のズレ量 $\Delta y'$ は、

$$\Delta y' = y' - y' \circ = - \Delta z \Delta z' \theta / f \quad (13)$$

となる。ここで、撮像素子4のズレ量 $\Delta z'$ は、従来例における距離Zを測定する際の誤差 ΔZ 、 $\Delta Z'$ に相当するから $\Delta z' = \varepsilon$ と置くと、(13)式は、

$$\Delta y' = - \varepsilon \theta \Delta z / f \quad (13')$$

と表すことができる。焦点距離 f を測定する際に(13')式内の $\varepsilon \theta / f$ が $\varepsilon \theta / f \ll 1$ を満足するように条件を選ぶのは容易である。つまり、 Δz と比較して光線位置のズレ量 $\Delta y'$ を十分小さくすることは可能である。

また、回折格子3が被検レンズTLの前側焦平面FFに対して Δz だけズレて配置されたときに被検レンズTLの焦点距離 f の測定誤差 Δf と焦点距離 f との比は式(11)～(13)、(13')式より、

$$\Delta f / f = (y' - y' \circ) / f = \Delta y' / f = - \varepsilon \theta \Delta z / f^2 \quad (14)$$

となる。(14)式を、従来手法の計算式である(j4)式と比較すると、従来手法の測定精度と比較して精度は $\Delta z \theta / f$ 倍となる。

一例として、設計値が15mmの被検レンズTLの焦点距離 f を測定する場合を考える。回折格子3のズレ量 ΔZ を15mm、回折格子3の空間周波数 $1/d$ を1001p/mm、波長を632.8nmとする。

回折角 θ は、 $\theta = \lambda / d = 0.06328$ であるから(14)式より $\Delta f / f$

$= 4.2 \times 10^{-3} \epsilon$ となる。ここで比較として、従来の手法の精度を示すと、式 (j 4) より $6.7 \times 10^{-2} \epsilon$ となる。つまり、回折格子 3 を置く位置が、被検レンズ T L の前側焦平面 F F の前後で $\pm 15 \text{ mm}$ ズレても、従来の手法と比較して 1 桁以上高い精度で被検レンズ T L の焦点距離 f を測定できる。また、回折格子 3 を被検レンズ T L の前側焦平面 F F に近づける程、つまり Δz を 0 に近づければ、一層精度が向上することが (1 4) 式から分かる

【0 0 2 3】

次に本発明の測定精度を確認するために行った試験について説明する。

焦点距離測定装置として、図 1 及び図 2 に示す第一の実施の形態による焦点距離測定装置 1 の構成を採用した。コリメート光源 2 は波長 632.8 nm の He - Ne レーザ、回折格子 3 の空間周波数は 20 本/mm とし、回折格子 3 の位置を被検レンズ T L の前側焦平面 F F 近傍で、 $\Delta z / f$ を ± 0.3 の範囲で変化させた。また被検レンズ T L として回折型レンズ (設計値: 15.266 mm) を用いて焦点距離 f の測定を行った。

その結果を表 1 に示す。

【0 0 2 4】

【表 1】

$\Delta z / f$	測定値	$\Delta f / f (\%)$
0.3	15.194	-0.469
0.2	15.226	-0.262
0.1	15.297	0.204
0	15.305	0.255
-0.1	15.368	0.669
-0.2	15.400	0.877
-0.3	15.416	0.980

【0025】

表1に示す結果から、 $\Delta z / f$ が $(-0.3) \sim (+0.3)$ の範囲で非常に大きく変動しても、焦点距離 f の測定誤差の割合 $\Delta f / f$ は1%以下の精度が得られていることが分かる。

このように本発明による焦点距離測定装置では、被検レンズTLに対して回折格子3を、正確な前側焦平面FF位置からそれぞれ少なくとも-30%から+30%の範囲でずれた位置に配設して焦点距離の測定を行ったとしても、高精度な測定を行えることを確認できる。そのため、本発明で言う前側焦平面近傍とは焦点距離 f に対して少なくとも $\pm 30\%$ の範囲を示している。

【0026】

次に本発明の他の実施の形態や変形例について説明するが、上述の実施の形態と同一または同様の部分、部材には同一の符号を用いてその説明を省略する。

図3は本発明の第二の実施の形態を示すものである。本実施の形態による焦点距離測定装置10では、被検レンズTLと撮像素子4との間に、倍率 M の拡大光学系からなる両側テレセントリック光学系6が配設されている。被検レンズTLの焦点距離 f が短い場合、第一の実施の形態による焦点距離測定装置1では1次回折光の像高 h または h_m が小さく、撮像素子4のスケールサイズまたは分解能と比較して適当でないために精度のよい測定はできない。そこで、倍率 $M (> 1)$ の両側テレセントリック光学系6を配設することにより、像高 h または h_m を M 倍にして撮像素子4の受光面4aに結像できる。

【0027】

図4は第三の実施の形態による焦点距離測定装置を示すものである。

本実施の形態による焦点距離測定装置20は、被検レンズTLと撮像素子4との間に倍率 $M (< 1)$ の縮小光学系からなる両側テレセントリック光学系7が配設されている。被検レンズTLの焦点距離 f が長い場合、第一の実施の形態による焦点距離測定装置1では1次回折光の像高 h または h_m が大きく、撮像素子4のスケールサイズまたは分解能と比較して精度のよい測定はできない。そこで、倍率 $M (< 1)$ の両側テレセントリック光学系7を配設することにより、像高 h または h_m を M 倍にして撮像素子4の受光面4a内に収まるように結像させるこ

とができる。

これら第二および第三の実施の形態のように倍率Mの両側テレセントリック光学系6または7を用いる場合には、式(1)及び式(1a)は、以下のように変形される。

$$f \equiv h / (M \tan \theta) \quad (1c)$$

或いは $f = h m / (M \tan \theta m) \quad (1d)$

【0028】

次に、本発明の第四の実施の形態による焦点距離測定装置を図5により説明する。尚、第一乃至第三の実施の形態ではスポット位置読み取り手段としてCCD等の撮像素子4を用いたが、本実施形態におけるスポット位置読み取り手段はフォトダイオード等の受光素子である。

図5に示す焦点距離測定装置30では、上述の第一の実施形態と同様にコリメート光源2、回折格子3が順次配設され、回折格子3の後方に被検レンズTLが配設され、さらにその後方にスポット測定ユニット32（スポット読み取り手段）が配設されている。このスポット測定ユニット32は、受光素子33が自動精密ステージ34上に固定保持されている。自動精密ステージ34は制御装置35によって移動可能とされ、これによって受光素子33が光軸Lに対して直交する方向、即ち光が回折格子3によってm次の回折光として分布される方向に移動することになる。

そのため、被検レンズTLによって集光した光は受光素子33に入射し、その光強度が得られる。この光強度は制御装置35に送られて記録される。また、受光素子33の移動に応じて、回折格子3でm次に回折された光がそれぞれスポット光として受光素子33に集光することになる。従って、図6に示すように、光強度の分布データが得られる。図6で横軸は自動精密ステージ34の移動量、縦軸は検出された各スポットの光強度分布である。図6の光強度分布図において、横軸で示す移動量の中央のピークは0次回折光の光強度、その両側のピークは±1次の回折光の光強度である。

【0029】

従って、図6の光強度分布図において、異なる回折次数の回折光のピーク間隔

を像高 h_m として検出することで、式 (1 a) から焦点距離 f を算出できる。特に上述の第一乃至第三の実施の形態のように CCD などの撮像素子 4 を用いた場合には、撮像素子 4 のピクセル単体は例えば $5 \mu m$ 角であるから、それ以上の分解能で焦点距離 f の検出はできない。これに対して、本第四の実施の形態によれば、自動精密ステージ 3 4 の最小移動量を $5 \mu m$ 未満、例えば $1 \mu m$ 以下とすることもできるので、撮像素子 4 を用いた場合よりも高い分解能でより高精度な測定ができる。

【 0 0 3 0 】

次に本発明の第五の実施の形態による焦点距離測定装置を図 7 により説明する。図 7 (a) は光学系の構成図、(b) は光学系においてプリズムで偏向する光の拡大図、(c) は同じく撮像素子で集光する光の拡大図である。

第五の実施形態による焦点距離測定装置 4 0 において、例えば He - Ne レーザからなるコリメータ光源 2 と例えば CCD からなる撮像素子 4 (スポット位置読み取り手段) は、上述の第一の実施の形態と同一構成である。また、コリメータ光源 2 と撮像素子 4 との間には保持手段 5 に保持された被検レンズ TL が配設されている。撮像素子 4 は被検レンズ TL の後側焦平面 FB 近傍に配設されている。また被検レンズ TL の前側焦平面 FF 近傍には、プリズム 4 1 が挿脱可能に配設されている。このプリズム 4 1 は、コリメータ光源 2 から出射されるコリメート光を偏向させるときのみ、光路中に挿入される。

そしてプリズム 4 1 が光路中に挿入された状態では、コリメート光源 2 から射出された光はプリズム 4 1 で偏向角度 θ で偏向させるようになっている。

上述のように構成された焦点距離測定装置 4 0 によれば、まず、プリズム 4 1 を光路から外した状態で、コリメート光源 2 から出射されるコリメート光を被検レンズ TL に入射させ、スポット位置を撮像素子 4 上に結像させて、その基準座標を予め記録する。

次にプリズム 4 1 を被検レンズ TL の前側焦平面 FF 近傍に挿入して、プリズム 4 1 に入射するコリメート光を角度 θ で偏向させる。この偏向したコリメート光は、被検レンズ TL を通過して撮像素子 4 上で集光する。ここでスポット位置の座標 y' を撮像素子 4 上で求めれば、基準座標とスポット位置の座標との差に

よりスポットの距離 h を求めることができる。次いで式 (1') を用いて被検レンズ TL の焦点距離 f を算出できる。

本実施の形態によれば、プリズム 4 1 を用いて被検レンズ TL の焦点距離 f を厳密に測定でき、構造が一層簡単で低廉な焦点距離測定装置 4 0 を得られる。

尚、光線偏向手段として、プリズムに代えてミラーを配設してもよい。

【 0 0 3 1 】

【実施例】

次に本発明の上述の各実施の形態をより具体化した実施例について説明する。

実施例 1

図 8 に示す実施例 1 は第一の実施の形態をより具体化した焦点距離測定装置 1 A を示すものである。この焦点距離測定装置 1 A は、コリメート光源 2 としてレーザ 2 A、回折格子 3 としてロンキールーリング 3 A、撮像素子 4 として CCD 4 A を採用して光学系が構成されている。ロンキールーリング 3 A は被検レンズ TL の前側焦平面 FF 近傍に配置し、CCD 4 A を被検レンズ TL の後側焦平面 FB 近傍に配置する。ロンキールーリング 3 A を被検レンズ TL の前側焦平面 FF 近傍に配置したことで、像側テレセントリックな光学配置になる。

このような焦点距離測定装置 1 A において、レーザ 2 A から射出したコリメート光はロンキールーリング 3 A に入射し、ロンキールーリング 3 A を通過して多数の回折光として射出される。各回折光の主光線は被検レンズ TL を透過後にそれぞれほぼ平行となって CCD 4 上に集光する。この CCD 4 A 上で得られる画像を各ピクセルの光強度に基づく光強度分布に変換すると図 9 に示すようなグラフになる。このグラフ上で、異なる回折次数の光のピーク間のピクセル数を数えて、実際の距離に変換して式 (1 a) に当てはめれば、被検レンズ TL の焦点距離 f が求められる。

【 0 0 3 2 】

実施例 2

次に図 1 0 は第二の実施の形態をより具体化した実施例 2 を示すものである。

図 1 0 に示す焦点距離測定装置 1 0 A において、コリメート光源 2 B は半導体レーザ 1 1 とコリメータレンズ 1 2 とで構成される。半導体レーザ 2 B は射出光の

平行度が小さいのでコリメータレンズ 1 2 を通過させることで平行光として射出させるようにしている。回折格子 3 はロンキールーリング 3 A、撮像素子 4 は CCD 4 A で構成されている。

またロンキールーリング 3 A と CCD 4 A との間に被検レンズ TL が配設され、更に被検レンズ TL と CCD 4 A との間に配設された両側テレセントリック光学系 6 は対物レンズ 1 3 と結像レンズ 1 4 とで構成されている。ロンキールーリング 3 A は被検レンズ TL の前側焦平面 FF 近傍に置き、CCD 4 A は被検レンズ TL の後側焦平面 FB 近傍に配置させる。ロンキールーリング 3 A を被検レンズ TL の前側焦平面 FF 近傍に配置したことで、像側テレセントリックな光学配置になる。

そして、コリメート光源 2 B から射出したコリメート光はロンキールーリング 3 A を通過することで多数の回折光となり、各回折光の主光線は被検レンズ TL を透過後にそれぞれほぼ平行となって集光する。そして、両側テレセントリック光学系 6 を構成する対物レンズ 1 3 と結像レンズ 1 4 によって各スポットは拡大されて CCD 4 A に集光する。そのため、実施例 1 の図 9 と同様なグラフが得られるので、各回折光のスポット間隔を測定し、2 つのスポット間隔を両側テレセントリック光学系 6 の倍率 M で割れば実施例 1 と同様に被検レンズ TL の焦点距離 f を算出できる。

【 0 0 3 3 】

実施例 3

図 1 1 に示す実施例 3 は第四の実施の形態の具体例である。

図 1 1 に示す焦点距離測定装置 3 0 A において、コリメート光源 2 は、レーザー 2 1、集光レンズ 2 2、コリメータレンズ 2 3 とで構成され、これらの光学系によってコリメータ光を出射する。回折格子 3 としてロンキールーリング 3 A を用いた。スポット測定ユニット 3 2 は、制御装置 3 5 で光軸 L に直交する方向に移動可能な自動精密ステージ 3 4 上にピンホール 3 6、結像レンズ 3 7、受光素子 3 3 が配設されている。ここでピンホール 3 6 は被検レンズ TL を通過した平行光の集光位置近傍に配設され、結像レンズ 3 7 に対してピンホール 3 6 と受光素子 3 3 とは共役な位置に配設されている。

制御装置 3 5 はコンピュータであり、自動精密ステージ 3 4 の移動を高精度に制御すると共に受光素子 3 3 で得られた光強度を図 6 に示すように受光素子 3 3 の移動量に沿って光強度分布図として記録する。

本実施例 3 による焦点距離測定装置 3 0 A によれば、迷光等のノイズはピンホール 3 6 で排除できるために迷光等による測定に対する悪影響を極力防止できる。そして自動精密ステージ 3 4 の最小移動量は $1 \mu\text{m}$ 以下とすることができるので、CCD を用いた場合よりも精密な焦点距離測定が可能になる。

【 0 0 3 4 】

実施例 4

図 1 2 に示す実施例 4 は第四の実施の形態の具体例である。

図 1 2 に示す焦点距離測定装置 3 0 B は、実施例 3 と同一の構成を備えており、レーザ 2 1、集光レンズ 2 2、コリメータレンズ 2 3 からなるコリメート光源 2、ロンキールーリング 3 A、更に自動精密ステージ 3 4 と制御装置 3 5 とピンホール 3 6 と結像レンズ 3 7 と受光素子 3 3 とを備えたスポット測定ユニット 3 2 を備えている。そして、更に本実施例では、被検レンズ TL とスポット測定ユニット 3 2 との間に拡大光学系からなる両側テレセントリック光学系 6 が配設され、この光学系 6 は実施例 2 と同様に対物レンズ 1 3 と結像レンズ 1 4 とで構成されている。

本実施例 4 によれば、実施例 3 と同様にコリメート光源 2 から射出したコリメート光は被検レンズ TL を透過後に各回折光の主光線がほぼ平行となって集光する。そして、両側テレセントリック光学系 6 を構成する対物レンズ 1 3 と結像レンズ 1 4 によって各スポットは拡大されてスポット測定ユニット 3 2 の受光素子 3 3 で受光する。そのため、図 6 に示す光強度分布図から得たスポット間隔を両側テレセントリック光学系 6 の倍率で割れば、他の実施例と同様に被検レンズ TL の焦点距離 f を算出できる。

上述のように、両側テレセントリック光学系 6 を用いれば、被検レンズ TL の焦点距離 f が非常に短い場合でも高い精度で焦点距離 f を求めることができる。

尚、実施例 3 と 4 では、受光素子 3 3 とピンホール 3 6 との間に結像レンズ 3 7 を配設したが、これに代えて変形例として受光素子 3 3 の光入射方向の直前に

ピンホール 3 6 を配設してもよい。このような構成を採用すれば、レンズ 3 7 を設けることなく迷光を排除できる。

【 0 0 3 5 】

【発明の効果】

上述のように本発明によれば、焦点深度や収差にかかわらず被検レンズの焦点距離の測定を正確且つ簡便に行なうことができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の第一の実施の形態による焦点距離測定装置の概略構成を示す図である。

【図 2】 第一の実施の形態による焦点距離測定装置において、測定精度を説明するための図である。

【図 3】 第二の実施の形態による焦点距離測定装置の概略構成図である。

【図 4】 第三の実施の形態による焦点距離測定装置の概略構成図である。

【図 5】 第四の実施の形態による焦点距離測定装置の概略構成図である。

【図 6】 図 5 に示す焦点距離測定装置の受光素子で測定したスポットの光強度分布図である。

【図 7】 第五の実施の形態による焦点距離測定装置の概略構成図である。

【図 8】 実施例 1 による焦点距離測定装置の概略構成図である。

【図 9】 図 8 に示す焦点距離測定装置の CCD で測定したスポットの光強度分布図である。

【図 1 0】 実施例 2 による焦点距離測定装置の概略構成図である。

【図 1 1】 実施例 3 による焦点距離測定装置の概略構成図である。

【図 1 2】 実施例 4 による焦点距離測定装置の概略構成図である。

【図 1 3】 従来の焦点距離測定装置の概略構成図である。

【符号の説明】

1、1 A、1 0、1 0 A、2 0、3 0、3 0 A、3 0 B、4 0 焦点距離測定装置

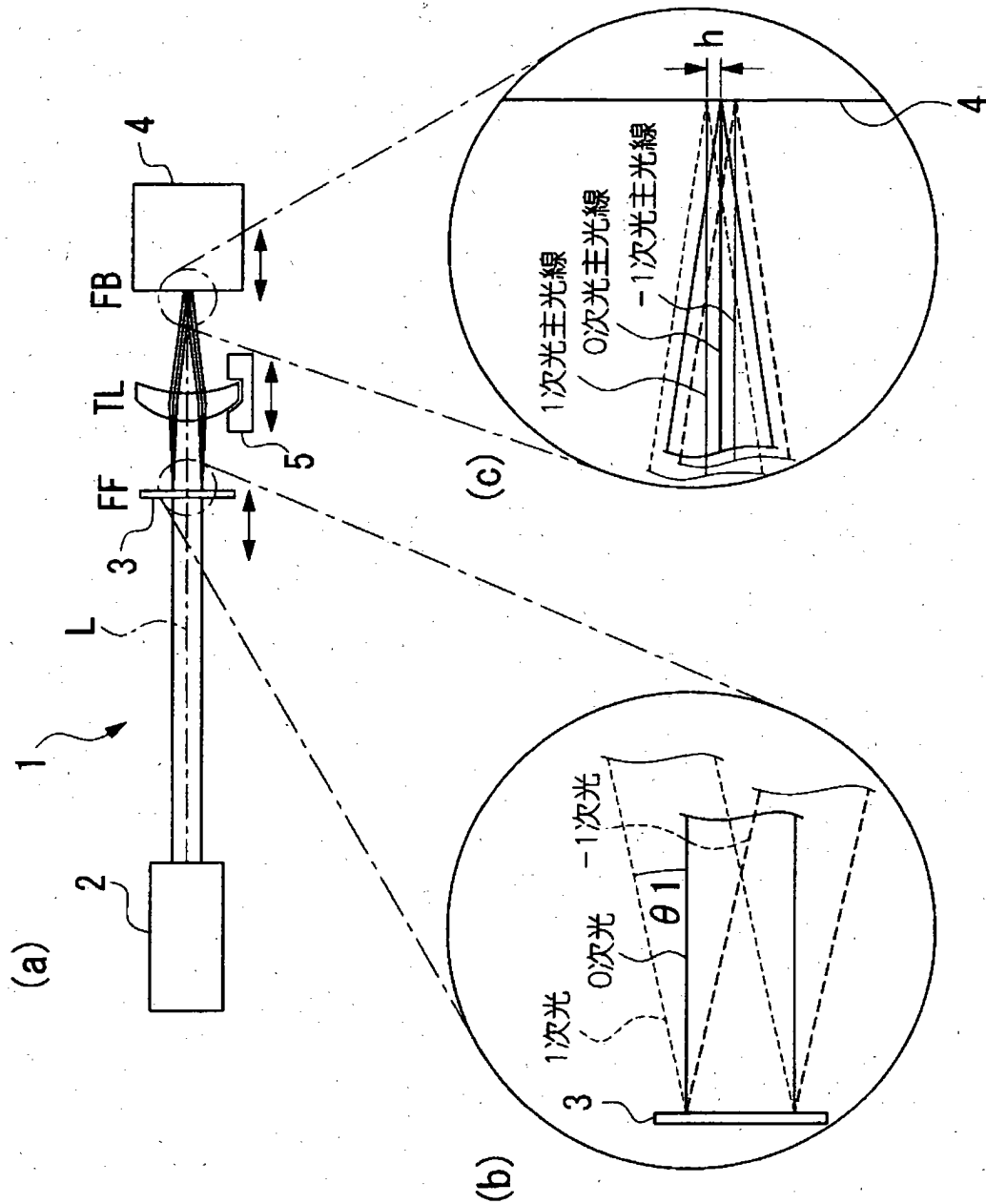
2 光源ユニット

3 回折格子（光線偏向手段）

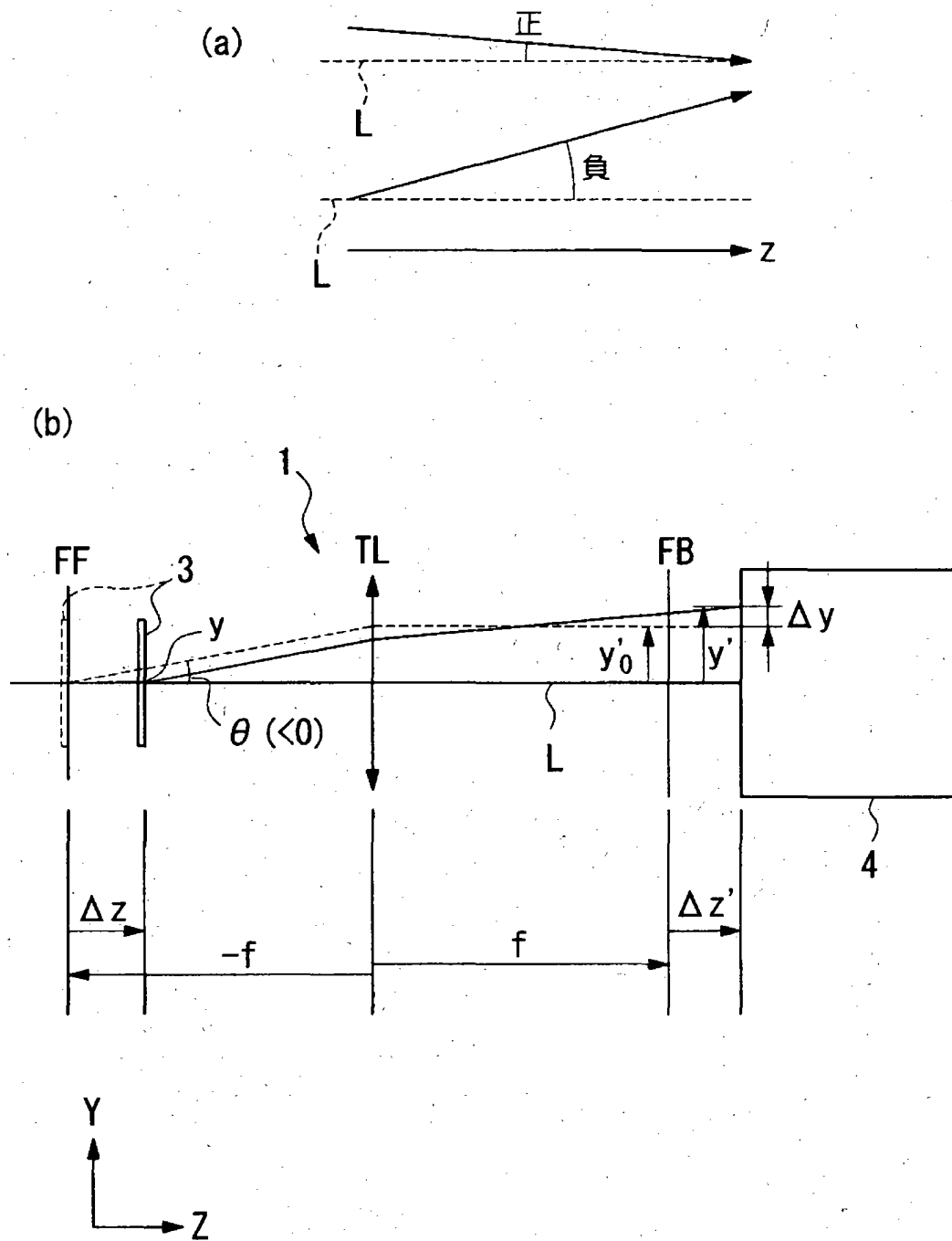
- 3 A ロンキールーリング (光線偏向手段)
- 4 撮像素子 (スポット位置読み取り手段)
- 4 A C C D (スポット位置読み取り手段)
- 5 保持部材
- 6、7 両面テレセントリック光学系
 - 1 1 半導体レーザー
 - 1 2、2 3 コリメータレンズ
 - 1 3 対物レンズ
 - 1 4、3 7 結像レンズ
 - 2 1 レーザ
 - 2 2 集光レンズ
 - 3 2 スポット測定ユニット (スポット位置読み取り手段)
 - 3 3 受光素子
 - 3 4 自動精密ステージ
 - 3 5 制御装置
 - 3 6 ピンホール
 - 4 1 プリズム (光線偏向手段)
- T L 被検レンズ

【書類名】 図面

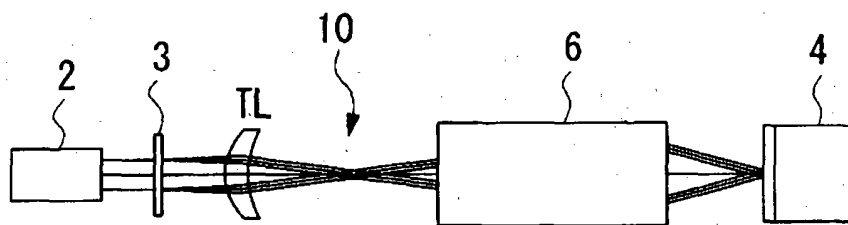
【図 1】



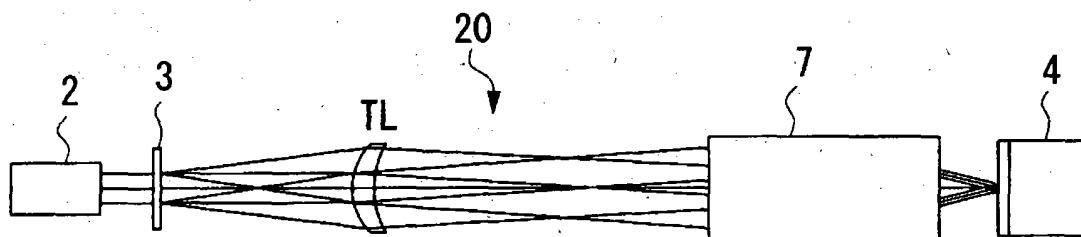
【図2】



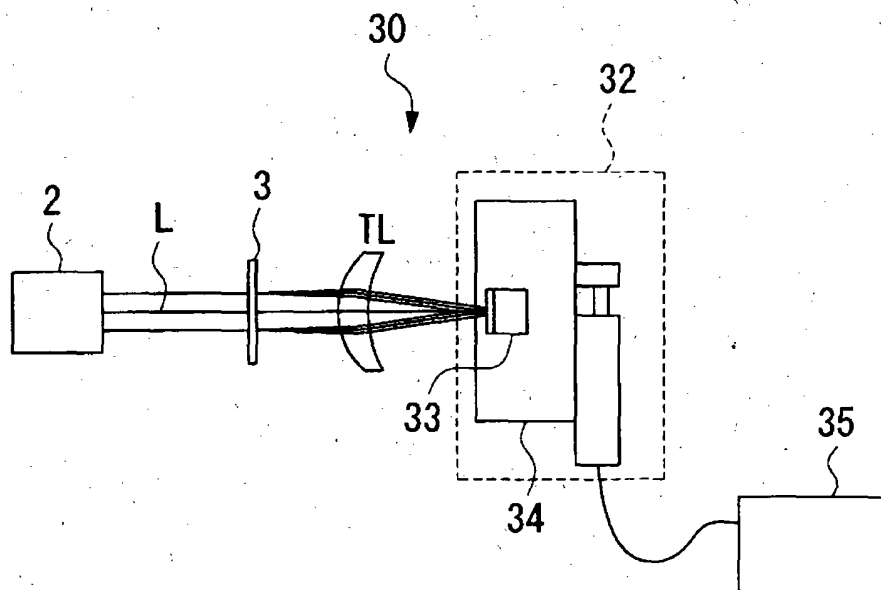
【図 3】



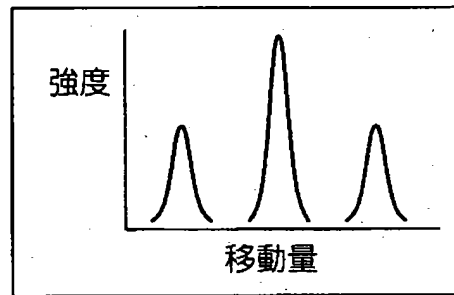
【図 4】



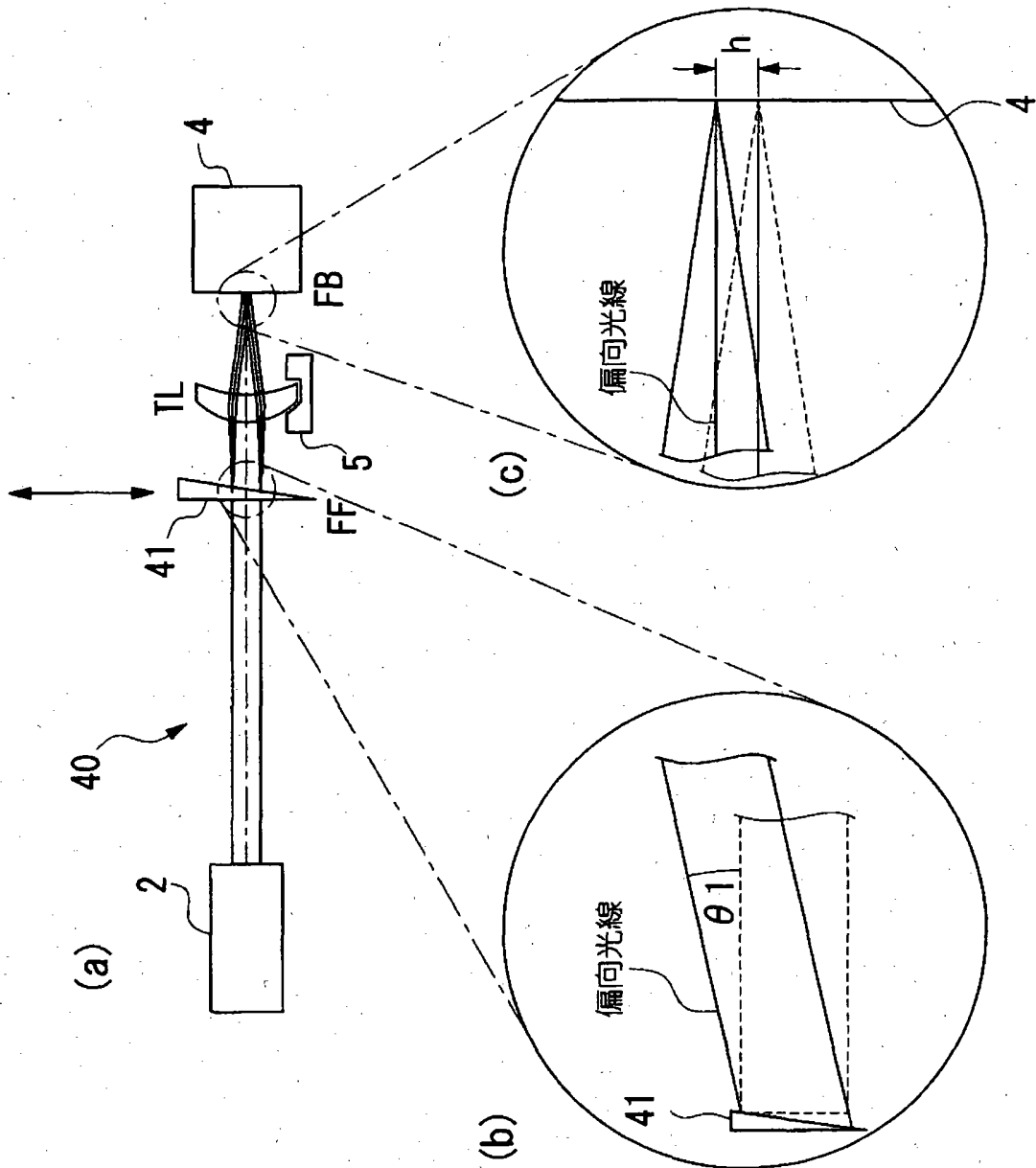
【図 5】



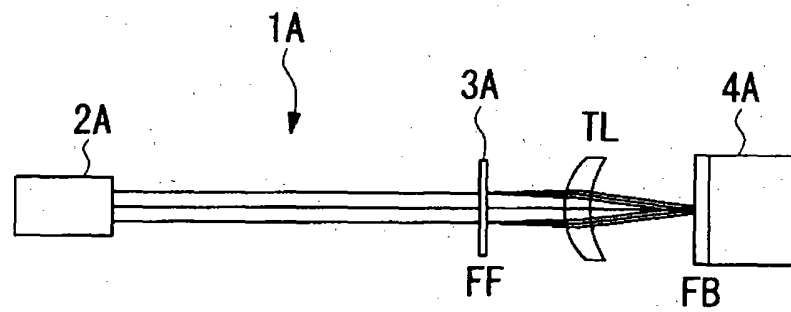
【図 6】



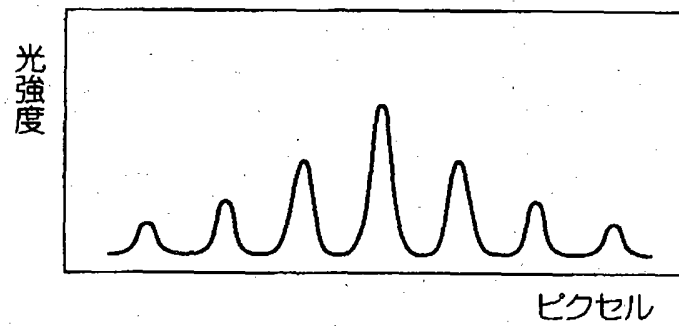
【図 7】



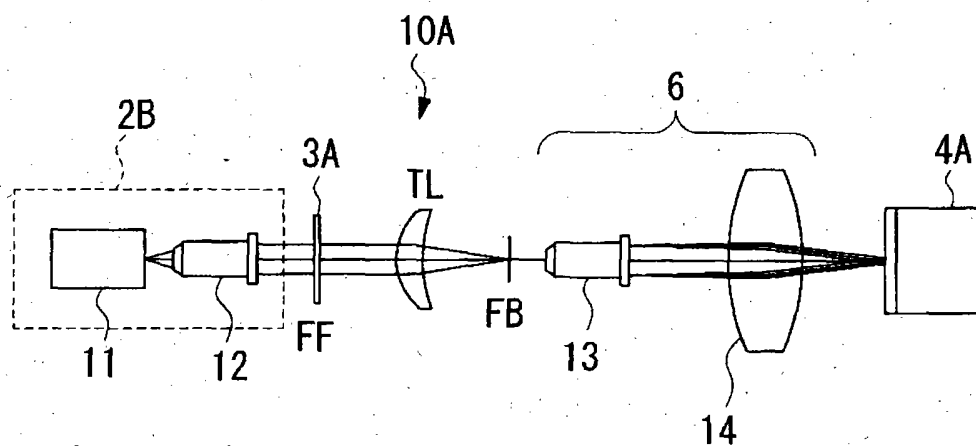
【図 8】



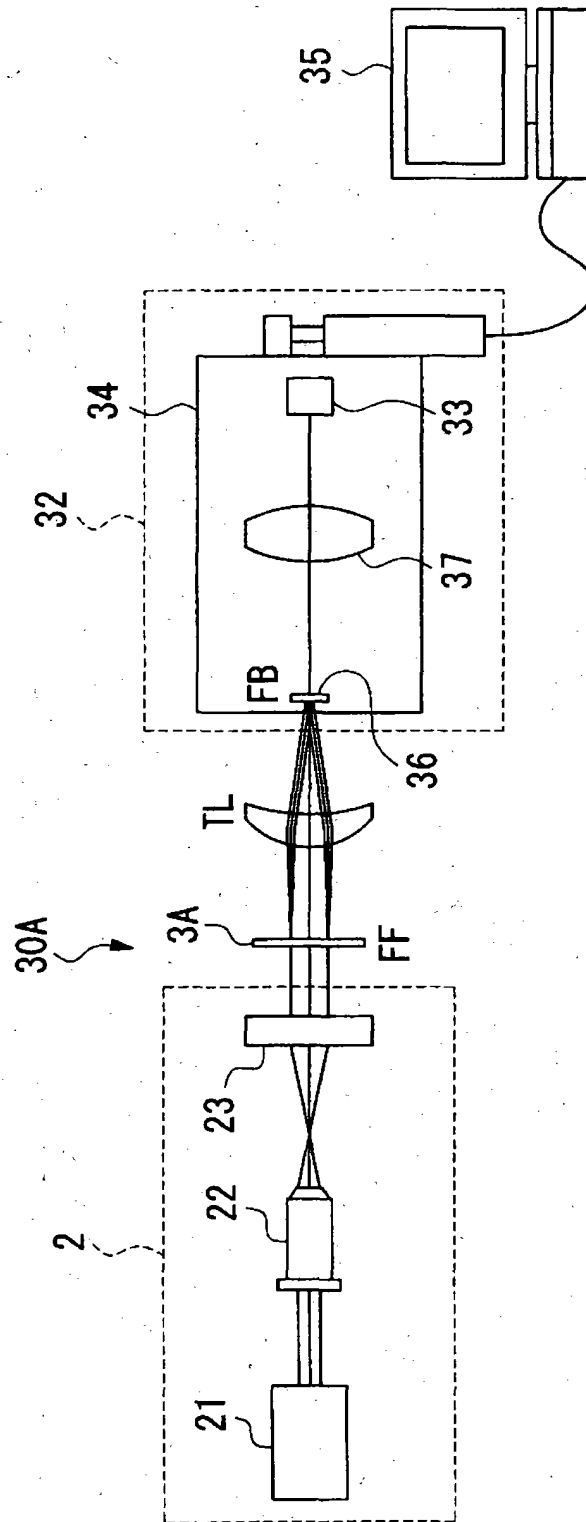
【図 9】



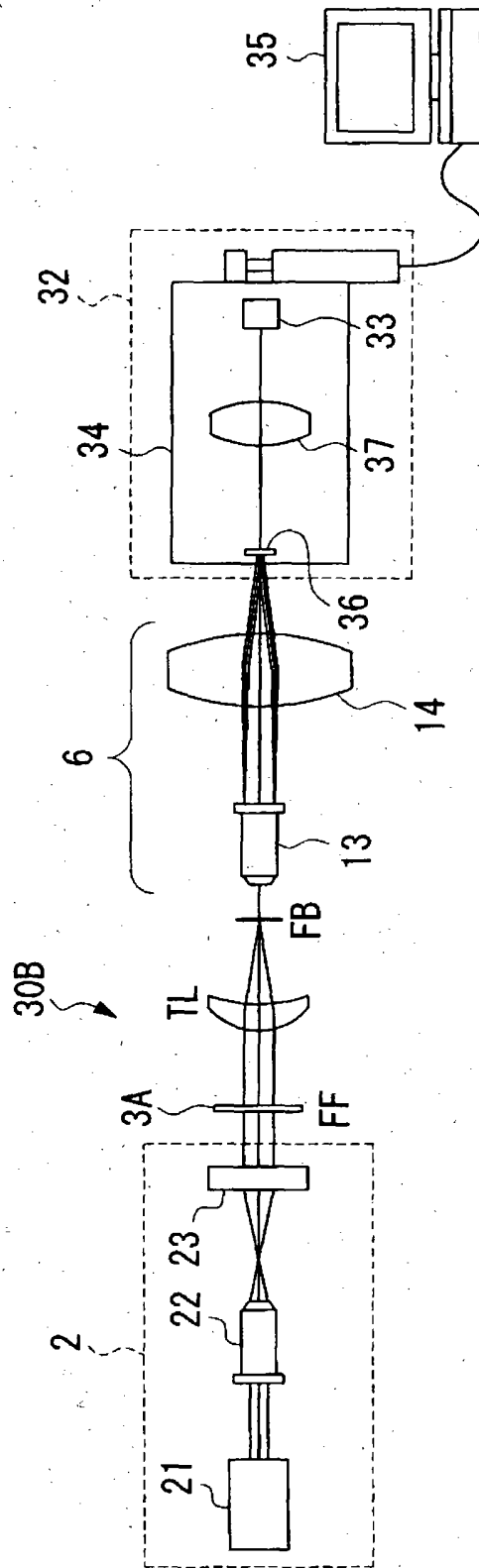
【図 10】



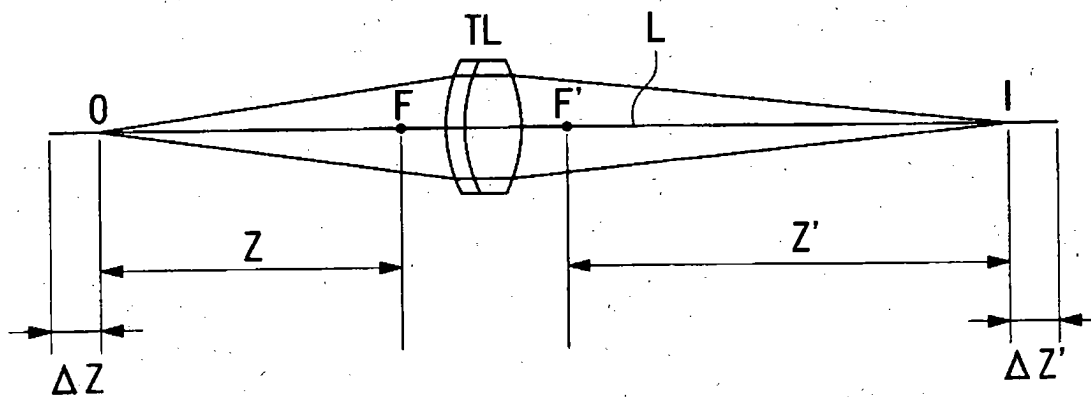
【図11】



【図12】



【図13】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 焦点深度と収差の影響を抑えて焦点距離を正確且つ容易に測定する。

【解決手段】 コリメート光を発生する光源ユニット 2 と、コリメート光を偏向角 θ で偏向させる回折格子 3 と、偏向した光が被検レンズ TL を通して結像するスポット光の位置を検出する撮像素子 4 とを備えている。回折格子 3 は被検レンズの前側焦平面近傍に配置し、撮像素子 4 は後側焦平面近傍に配置する。撮像素子 4 で得た 1 つのスポット位置と光軸との距離を像高 h として測定する。式 (1) $h = f \tan \theta$ から焦点距離 f を得る。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2002-224734
受付番号	50201140535
書類名	特許願
担当官	伊藤 雅美 2132
作成日	平成14年 8月16日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】	000000376
【住所又は居所】	東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号
【氏名又は名称】	オリンパス光学工業株式会社

【代理人】

申請人

【識別番号】	100106909
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場3-23-3 ORビル
【氏名又は名称】	棚井 澄雄

【代理人】

【識別番号】	100064908
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場3丁目23番3号 ORビル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	志賀 正武

【選任した代理人】

【識別番号】	100101465
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場3丁目23番3号 ORビル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	青山 正和

【選任した代理人】

【識別番号】	100094400
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場3丁目23番3号 ORビル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	鈴木 三義

【選任した代理人】

【識別番号】	100086379
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場3丁目23番3号 ORビル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	高柴 忠夫

次頁有

認定・付加情報（続き）

【選任した代理人】

【識別番号】 100118913

【住所又は居所】 東京都新宿区高田馬場3丁目23番3号 ORビ
ル志賀国際特許事務所

【氏名又は名称】 上田 邦生

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000000376]

1. 変更年月日 1990年 8月20日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号
氏 名 オリンパス光学工業株式会社